1Н

УДК 004.942

Ю.И. Нечаев
НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Россия
Россия, 196128, Санкт-Петербург, а/я 13, nechaev@mail.ifmo.ru

Философские аспекты реализации проблем современной теории катастроф в интегрированной динамической среде

Yu.I. Nechaev
Research intensive computing St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Russia
Russia, 196128, St. Petersburg, p / 13. nechaev@mail.ifmo.ru

Philosophical Aspects of Realization of Problems of the Modern Theory of Accidents in Integrated Dynamic Environment (Wednesday)

Ю.І. Нечаєв
НДІ наукоємних комп'ютерних технологій Санкт-Петербурзького національного дослідницького університету інформаційних технологій, механіки та оптики, Росія
Росія, 196128, Санкт-Петербург, а/с 13, nechaev@mail.ifmo.ru

Філософські аспекти реалізації проблем сучасної теорії катастроф в інтегрованому динамічному середовищі

Рассмотрены некоторые философские аспекты, связанные с научным поиском, при разработке современной теории катастроф. Обсуждаются аналогии при интерпретации процессов в сложных динамических средах. Анализ ведется на основе достижений в области интеллектуальных технологий и высокопроизводительных средств в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Статья представляет собой сокращенный вариант исследования, представленного автором на Международном Форуме «World Forum-2013» в США.
Ключевые слова: современная теория катастроф, мультипроцессорная вычислительная среда, концептуальный базис.

Consideration some philosophical aspects connected to scientific search by development of the modern catastrophe theory. The analogies are discussed at interpretation of processes in complex dynamic environments. The analysis is conducted on the basis of achievement in the field of intelligence technologies and high-performance means in frameworks paradigm of processing of the information in multiprocessor computing environment. Clause represents the reduced variant of research submitted by the author on the International Forum «World Forum-2013» in USA.
Key words: the modern theory of catastrophes, multiprocessor computing environment, the conceptual basis.

Розглянуті деякі філософські аспекти, пов'язані з науковим пошуком, при розробці сучасної теорії катастроф. Обговорюються аналогії при інтерпретації процесів у складних динамічних середовищах. Аналіз проводиться на основі досягнень у сфері інтелектуальних технологій та високовиробничих засобів у рамках парадигми обробки інформації у мультипроцесорному обрахунковому середовищі. Стаття являє собою скорочений варіант дослідження, представленого автором на Міжнародному Форумі «World Forum-2013» у США.
Ключові слова: сучасна теорія катастроф, мультипроцесорне обрахункове середовище, концептуальний базис.

1 Концептуальный базис современной теории катастроф

В современных исследованиях и практических приложениях методов искусственного интеллекта (ИИ) особую актуальность приобретают системы поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях на основе методов теории катастроф [1-23]. Поиск эффективных путей решения этой сложной проблемы привел к использованию всего доступного арсенала методов и моделей, основанных на технологиях высокопроизводительных вычислений. Теоретическая база классических моделей катастроф совершенствуется в направлении изучения и применения для решения сложных проблем в науке, технике, образовании. С помощью моделей катастроф эффективно решаются задачи идентификации и прогноза, мониторинга и управления. Принципиальным достоинством применения методов теории катастроф в системах ИИ является возможность их реализации в мультипроцессорной вычислительной среде [9]. Это обеспечивает высокую производительность обработки информации в режиме реального времени. В отличие от традиционных вычислительных систем, методы теории катастроф открывают возможности формализации динамической базы знаний, обеспечивая при этом режим самонастройки вычислительной среды в зависимости от полученных решений (рис. 1) [13].

Разработка и совершенствование концептуального базиса современной теории катастроф связаны с перестройкой научного знания в рамках своеобразного научного полигона – это, прежде всего, эксперимент (математический и физический), возможность познать новые физические эффекты и закономерности. Рассматриваемые в настоящей статье методы и модели теории катастроф основаны на новых подходах к обработке и интерпретации информации, и представляют собой инструмент, дополняющий современный арсенал средств моделирования сложных явлений на основе нетрадиционной вычислительной технологии [9-13].

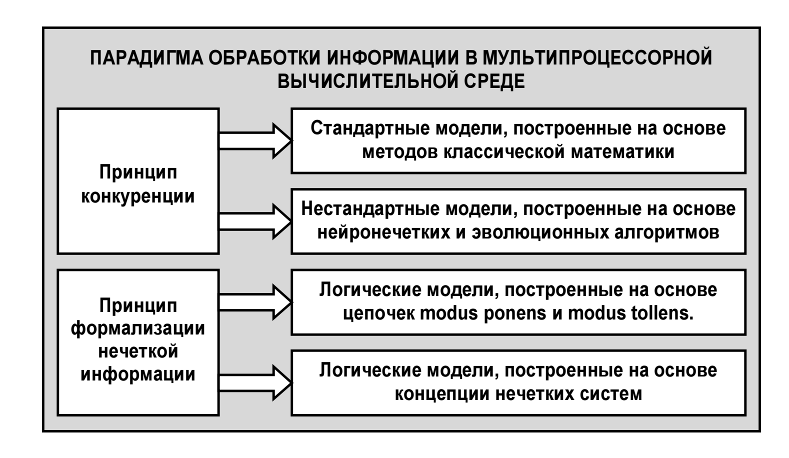


Рисунок 1 – Парадигма обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде современной теории катастроф

Идея написания статьи такого необычного содержания была высказана в Оксфорде (Великобритания, 2012) в связи с вручением мне медали имени Альберта Эйнштейна за разработку современной теории катастроф и ордена как международному эксперту – за вклад в развитие международного сотрудничества в области интеллектуальных технологий XXI века. При этом было подчеркнуто, что физические и математические аспекты проблемы автором, как математиком и инженером, разработаны на высоком уровне. В то же время философские аспекты, по котором автор имеет третье образование – диплом философского факультета – оставлены без внимания. Предлагаемая статья – попытка связать физические эффекты в сложных динамических средах с общими фундаментальными проблемами развития современной компьютерной математики, интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислительных средств. Отдельные обобщения сделаны в рамках физико-философских аспектов, связанных с формированием нового знания при построении моделей интерпретации чрезвычайных ситуаций. Значительная часть изложения посвящена практическим приложениям при контроле динамики нелинейных нестационарных объектов. Развитию исследований в этой области способствуют новые направления геометрической и аналитической интерпретации информации в сложных динамических средах.

2 Новое знание и старый язык в постижении мира образов и понятий

Разработка научных основ современной теории катастроф потребовала создания модели нового знания о сложных процессах и явлениях, описываемых в рамках такой интерпретации [13]. Старый язык исследования оказался мало пригодным для формализации нового знания. Нужны новые фундаментальные представления о динамике сложных систем. Классическая механика И. Ньютона и электродинамика Д. Максвелла дошли до границы своей применимости: «Они запрещали существовать тому, что наблюдалось в природе» [4], [18]. В задачах классической механики, рассматриваемых мир непрерывных процессов, не нашлось места для новой модели возникновения и развития «скачка» в поведении сложных систем. Наполненность мира всегда неоднозначна, что требует новых знаний и новых подходов к интерпретации сложных явлений. С этой проблемой ранее столкнулись специалисты, занимающиеся исследованиями в области квантовой механики. В острых дискуссиях по этой проблеме принимали участие крупнейшие ученые, лауреаты Нобелевской премии: Нильс Бор, Альберт Эйнштейн, Э. Розерфорд, П.Л. Капица, Л.Д. Ландау и многие другие ученые, трудами которых заложен фундамент мировой науки [4]. Не менее острой была научная дискуссия по проблеме теории относительности, когда это новое знание не было воспринято в рамках старых представлений [4], [18]. Крылатая фраза, высказанная Э. Розенфордом во время этой дискуссии: «Верно, потому что это абсурдно», – до сих пор напоминает нам остроту мнений и должна явиться своеобразной «путеводной звездой» для тех, кто не может освободиться от старых представлений и воспринять новое знание, содержательность образа, факты и закономерности реальной действительности. При этом надо помнить, что стареет не проблема, а стареют ее решения [4].

На пути практических приложений методов современной теории катастроф в рамках общей проблемы развития научного знания, определяемого интеллектуальными технологиями XXI века, существует еще много фундаментальных вопросов,

ожидающих разрешения. Мы должны быть готовы к этим сюрпризам. При этом пусть каждый исследователь развивает собственные идеи, а полезные дискуссии и язык наших представлений, выработанный веками, помогут прояснить законномерности природы и постижимость мира образов и понятий. Глубинные философские разногласия отделяют обычно старшее поколение от более молодого, для которого проще освободиться от бремени доказательств и необходимости оглядываться назад. А когда философия становится психологией, через нее очень трудно переступить. Особенно заметно такая тенденция проявляется в наше время, когда существует большой разрыв поколений исследователей в науке и образовании. Молодое поколение оказалось в более счастливом положении, потому что охотно отказалось от предвзятых схем и, используя достижения компьютерной математики, легко освобождается от путаницы и беспорядка, возникающих при интерпретации сложных физических явлений на базе старого языка описания мира образов и понятий реальной действительности.

Что же представляет современная теория катастроф? Возможны различные интерпретации этой теории в зависимости от рассматриваемой проблемы. Исходным является понятие множества, позволяющего определить все основные понятия новой интерпретации теории катастроф. В общем виде динамическую модель катастрофы можно представить в виде отображения [13]:

$$\mathrm{Cat}(D) = <\mathrm{Cat}(B), \mathrm{Cat}(E,DO), \mathrm{Cat}(F,DO)>, \qquad (1)$$

где Cat(B) – бифуркационное множество, Cat(E,DO) – множество, определяющее взаимодействие динамического объекта (DO) с внешней средой (E); Cat(F,DO) – множество, определяющее особенности ДО.

Компоненты модели (1) должны быть предварительно изучены на базе математического и физического моделирования. При этом определяющую роль при интерпретации сложных физических явлений и процессов играют наблюдения и накопленный опыт. Учет сложности осуществляется в рамках *теории сложности*, требующей одновременного учета *структуры* модели и ее *адекватности* [13]. Для избежания затруднений выбора динамической модели в рамках отображения (1) используется принцип конкуренции:

$$\mathrm{Com}(PR) = <ST, FLM, ANN>, \qquad (2)$$

где ST – стандартная модель, описывающая ситуацию на основе достижений классической математики; FLM – модель, реализованная в рамках нечеткого логического базиса; ANN – нейросетевая модель.

Выбор модели осуществляется на основе анализа альтернатив. Предпочтение отдается модели, удовлетворяющей принципу сложности [13] и позволяющей получить искомое решение за выделенный интервал времени. Реализация принципа конкуренции тесно связана с концепцией *мягких вычислений* (Soft Computing), находящей широкое применение при разработке современных технических приложений на основе интеллектуальных технологий [23].

3 Проблемы и парадоксы реализации методов современной теории катастроф

Пробиться в мир проблем, определяющих современную теорию катастроф, возможно только путем преодоления «непролазной трясины» математических описаний на базе данных наблюдений физических явлений. Основная причина – *неопределен-*

ность, которая должна быть уменьшена и оценена. Громоздкие и неразрешимые математические модели в условиях неопределенности представляют собой *трудноформализуемые* задачи, исследование которых часто возможно только на базе гипотез и упрощающих предположений. В рамках физической интерпретации неопределенность нельзя полностью устранить, ее можно уменьшить и довести до нужного ограничения. Попытки поколебать принцип неопределенности принимались неоднократно, в том числе и во время острых дискуссий по проблеме квантовой механики [4]. Практика решения сложных научных проблем показывает, что классический взгляд на причинность не всегда одерживал победы из-за неуступчивости внутренних голосов, участвующих в дискуссии, и не было даже ни одной ничьей – законы природы неуступчивы. А когда философия становится психологией и сокровеннейшей искренностью, ее не переступить. Феномен причинности особенно остро проявился при создании квантовой механики как эпохи *бури и натиска* по образному выражению участников дискуссии [4].

Проблемы и парадоксы всегда сопутствовали научному поиску и формированию научного знания. Не является исключением и современная теория катастроф [13]. Интерпретация сложного взаимодействия во многих моделях катастроф ведется в рамках *гипотезы квазистационарности* на основе фрактального анализа, энтропийного и вероятностного подходов. Введение гипотезы квазистационарности не является самоцелью, а стремлением сохранить достижения классической теории в рамках новой интерпретации. В то же время такой подход порождает проблемы *прерывности и дискретности* в сложных физических явлениях, требующих теоретических обобщений механизма взаимодействия. Формирование структур, раскрывающих не всегда выводимые связи и закономерности, вызывает много вопросов вследствие физического своеобразия и аналитического упрощения исследуемых явлений. При этом фрактальный анализ усиливает роль геометрической компоненты динамической модели катастроф, а энтропийный подход обеспечивает аналитическое отображение текущей ситуации в условиях значительной неопределенности.

Наибольшие трудности вызывает вероятностный подход. В работе [21] подробно рассмотрены типичные парадоксы, связанные с реализацией вероятностного подхода при нормировании динамических характеристик морских объектов. В частности, возникающий при такой интерпретации *парадокс «идеальных» норм свидетельствует о том*, что гарантия безопасности любых, даже самых примитивных, критериев может быть сделана как угодно близкой к единице (идеальные нормы), но ценой ужесточения норм.

Другим парадоксом вероятностного нормирования является *парадокс нулевой вероятности*. Действительно, вероятность потери остойчивости (опрокидывания) практически равна нулю (по данным мировой аварийной статистики вероятность опрокидывания составляет приблизительно 10^{-4}, т.е. соответствует диапазону риска при посадке вертолетов, скачках с препятствиями и спортивных автогонках), но это событие не является невозможным. Возникает парадокс, можно ли сравнивать «шансы» событий, имеющих нулевую вероятность. А также правомерно ли объединение событий, имеющих нулевую вероятность, приводящее в конечном счете к вероятности, близкой к единице, т.е. сложение многих «ничего» дает в итоге «нечто». Много парадоксов связано с применением законов распределения. Одна из особенностей обусловлена асимптотическими свойствами этих законов и заключается в нечувствительности вероятностного критерия к большим изменениям аппликаты центра масс в области вероятности $P_0 \to 1$. Другие особенности связаны с трансформацией законов

распределения на выходе динамической системы в зависимости от характера нелинейности и уровня действующих возмущений. Принципиальное значение имеет парадокс выбора пороговых значений Критериальных соотношений. Использование нечетких границ критериев приобретает важное значение в связи со случайным характером и неопределенностью исходной информации, на основании которой строится расчетная схема оценки поведения ДО. Немало парадоксов связано с компьютерной реализацией задач динамики сложного объекта. Любое статистическое решение, которое можно реализовать на компьютере, стало доступным для исследователей. В результате «устойчивые» и многомерные методы с огромным числом операций вошли в повседневную практику без достаточного теоретического обоснования. Между тем, многие эмпирические коллизии, используемые в статистической практике, можно обосновать с помощью робастных статистик, что в практике моделирования используется крайне редко.

При разработке современной теории катастроф большое внимание уделяется проблеме неопределенности на примере приложения к морским исследованиям. В задачах математического описания и при разработке критериального базиса нормирования динамических характеристик судов используется классификация неопределенностей [13]. По образному выражению Л.Д. Ландау «ввиду краткости нашей жизни мы не можем позволить себе роскошь заниматься вопросами, не обещающими новых результатов». Именно поэтому автор ограничился неопределенностями в рамках только одного класса, оставив эту проблему, полную непреодолимых трудностей в других приложениях, на рассмотрение новых поколений исследователей. Приходят новые ученики, навсегда уходят старые учителя. Однако научный мир развивается по своим законам и все повторяется сначала. Бурное развитие науки в наши дни, использование нетрадиционных методов вычислительной математики [5] и формального анализа в рамках концепции *мягких вычислений* [23] вызывают неоднозначное отношение к этим направлениям развития вычислительной математики. В этих условиях не менее остро проявляется всевозрастающая трудность приспособления к новым идеям, когда способности специалистов критически осмысливать действительность опережают способности к конструктивным решениям.

4 Проблема «скачка» в динамической модели катастроф

Взаимодействие ДО с внешней средой в моделях теории катастроф реализуется в пространстве и времени, с помощью которых отображается эволюция сложной системы. В современной математике пространство определяют как множество объектов (геометрические фигуры, функции, состояния физической системы). Рассмотрение пространства как общей онтологической категории связано с выбором *базовой концепции пространства*. Построение онтологии пространства предполагает определение множеств пространственных примитивов и базовых отношений, а также задание структуры пространства – в виде аксиом, исходя из требований предметной области [13]. Важную роль в геометрической интерпретации текущих ситуаций методами теории катастроф играет *пространство событий*. Каждое событие характеризуется положением – координатами x, y, z и временем t. Поэтому множество всевозможных событий оказывается четырехмерным пространством, где точка – «событие» – определяется координатами x, y, z, t. Фазовое пространство при аналитической интерпретации событий – это совокупность всех возможных состояний динамической системы.

Теоретическая база систем, реализующих концепцию современной теории катастроф, формируется на основе эффективного сочетания накопленной системы знаний с

новыми подходами и парадигмами ИИ. Среди них важная роль принадлежит методам и моделям, обеспечивающим формализацию и интеграцию знаний, механизм логического вывода, поиск решений и выдачу практических рекомендаций в условиях неопределенности и неполноты исходной информации.

Научное описание задачи должно быть *непротиворечивым*. Но как может удовлетвориться это научное требование, если в описании главное исходило из противоречия. В философии это называется *борьба противоположностей*. Нелинейный мир так необычен, что в классическом описании этой необычности противоречивые образы и операции предстают как несовместимые. Язык познания сохраняет могущество от того, что классически несовместимые черты действительности не исключают, а сохраняют, дополняя друг друга [4], [11]. *Принцип дополнительности* широко используется в научном поиске. Когда сознание ищет полноты отражения реальности, оно выводит на оценку взаимоисключающие картины явления и рассматривает их как дополнительные. Искусство способно напоминать нам о гармониях, лежащих за пределами систематического анализа. Этому в значительной степени способствуют современные компьютерные средства визуализации, особенно виртуальной реальности [17]. Именно поэтому в системах «жесткого» реального времени оператору предоставляются *когнитивные структуры*, обеспечивающие быстрое и сжатое представление экстремальной ситуации в виде простых и легко интерпретируемых геометрических образов [2], [13].

Особенно сложными представляются задачи, где «господствуют скачки» (рис. 2). Пробиться в мир математического описания путем частных предположений и гипотез при формализации явления «скачка» в динамических средах совсем непросто и требует привлечения достижений всего имеющегося арсенала средств и методов научных исследований, а часто большого ума и фантазии. Особенно сложно это при интерпретации мало изученных и трудно прогнозируемых явлений и физических закономерностей, описывающих чрезвычайные ситуации. О возможных «прыжках» свидетельствуют модели потери устойчивости и прочности, рассмотренные в фундаментальных трудах по теории катастроф [3], [15], [22].

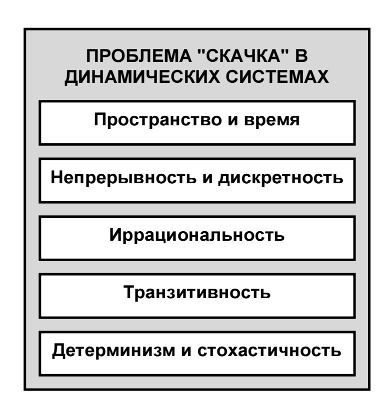


Рисунок 2 – Проблема «скачка» в динамических системах современной теории катастроф

Явление «скачка» должно быть доступно при математическом описании. Однако в трудноформализуемых средах необходимо разработать физический механизм, часто соединяющий несоединимое – картину мира и абстрактный образ «скачка». Реализация этой парадигмы в современной теории катастроф достигается в виде адаптивной модели [13]. В процессе адаптации рассматриваются два типичных сценария развития текущей ситуации динамики взаимодействия с помощью фрактальной геометрии:

$$\mathrm{Frac}(S,t) \rightarrow \Omega(\mathrm{Stab},t),\ \mathrm{Frac}(S,t) \rightarrow \Omega(\mathrm{Cap},t), \tag{3}$$

характеризующие устойчивое и неустойчивое состояния динамической системы (возникновение скачка в поведении системы за счет резкого изменения структуры внешнего возмущения). Первый сценарий соответствует случаю стабилизации ситуации в процессе движения ДО к целевому аттрактору (стабильное состояние системы Ω (Stab,t)), второй – потере устойчивости (возникновение катастрофы Ω(Cap,t)).

Вводя идею скачков в современную теорию катастроф, надо попытаться описать их во времени и пространстве. Определяя вероятности фазовых переходов, следует разработать единую систему представлений этого необычного явления. Однако такого представления в динамике нелинейных нестационарных систем пока не сформулировано. Изучая динамику сложных систем, где господствуют «скачки», исследователи были вынуждены создавать равноправные механизмы взаимодействия, но каждый отдавал предпочтение только своей схеме. В результате сравниваемые алгоритмы, построенные на разных математических языках, представляли ситуацию, в которой слабо согласуется расчет и эксперимент.

Ярким примером «скачка» служит экспериментально установленный факт попадания динамической системы в «потенциальную яму» при определенной частоте взаимодействия и уровне внешних возмущений. Однако такие сравнительно простые явления достаточно хорошо изучены в прикладных исследованиях и могут быть описаны с помощью математических моделей теории нелинейных систем. Другое дело, когда приходится сталкиваться с чрезвычайной сложностью и ненаблюдаемостью скачкообразных феноменов, требующих изменения традиционных представлений о изучаемом явлении. Как в единой модели отобразить все возможные варианты «скачков»? Еще мыслители древности указывали на необходимость величайшей осторожности в присвоении атрибутов, выраженных на языке повседневной жизни. Это означает, что мы должны разговаривать о самых глубинных явлениях природы на языке научного опыта с предельной и мудрой осмотрительностью, всегда помнить о диалектическом единстве несовместимых представлений. Никакими общими соображениями нельзя привести к согласию расходящиеся точки зрения на природу «скачка» и порождающих его внутренних механизмов. Проблема *иррациональности* подразумевает невыразимость с помощью обычной логики. Так уж устроен мир научного поиска, в котором выделяют цепочки событий (поиск новых форм):

$$\text{Search}(Q,N,F) = \langle C, R, U, J \rangle, \quad (4)$$

определяющие причинность C, случайность R, непрерывность U, «скачок» J.

В результате физика превращалась в философию и необходимо было навсегда прощаться с подходами вековой философии – классическим детерминизмом. Непреодолимость «скачков» не оставляла надежд на плавно-причинное описание физических явлений в сложных задачах, когда ситуации реализуются под девизом: или *сразу все* (переход системы в устойчивое состояние), или *вообще ничего* (сохранение прежней устойчивости). В соответствии с законом эволюционного «скачка» в процессе развития нашей цивилизации в рамках интеллектуальных технологий XXI века обеспечивается фазовый переход к искусственному разуму, что потребует кардинальных изменений по всем направлениям человеческой деятельности. В этих условиях человек получит мощное увеличение его эволюционного потенциала, ибо следуя Норберту Винеру: «Настоящей наукой можно заниматься в обществе, построенном на иных принципах, чем купля – продажа…».

5 Физические эффекты и проблемы математического описания

Выявление физических закономерностей изучаемых явлений при разработке современной теории катастроф осуществляется на базе концепции Data Mining [17]. В рамках

такой интерпретации выделяются «скрытые» знания, определяющие события, в наибольшей степени, определяющие поведение исследуемого ДО (рис. 3). В практике научных исследований нередко отмечались теоретически необоснованные, но наблюдаемые факты и закономерности.

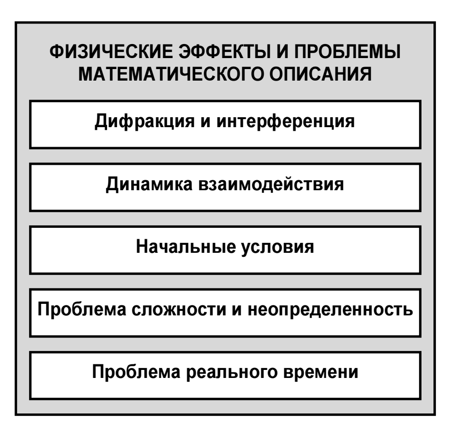


Рисунок 3 – Физические эффекты и проблемы математического описания задач современной теории катастроф

С этими парадоксами автор столкнулся при исследовании поведения судна на попутном волнении. Математические модели и критериальный базис нормирования этой экстремальной ситуации разрабатывались в рамках гипотезы А.Н.Крылова, сформулированной в конце 19 столетия и положенной в основу теории качки судов на волнении. Справедливость этой гипотезы более 50 лет неоднократно проверялась на практике, а используемые модели были адекватны реальным ситуациям, наблюдаемым при эксплуатации судов. Однако прошли годы, появились новые типы судов, режимы движения которых характеризовались значительно более высокими числами Фруда. Оказалось, что влияние неучтенных факторов – дифракции и интерференции корабельных и набегающих волн – может приводить к существенным расхождениям теории и практики [17], [21].

Физические эксперименты, проведенные автором, показали настолько большое расхождение теории и эксперимента (100% и более), что большинство специалистов не поверили в этот результат. Дискуссия, в которой участвовали практически все ведущие специалисты и научно-исследовательские лаборатории развитых стран, продолжалась в течение нескольких лет.

В результате был экспериментально подтвержден установленный факт интерференции, разработанная модель взаимодействия давно используется в научных исследованиях и практике проектирования, а в настоящее время принята в качестве эталонной модели при тестировании программных систем оценки динамики судна на волнении, в том числе и при реализации модифицированного уравнения Матье в теории катастроф [13].

Этот пример красноречиво подтверждает известное утверждение о том, что «никаким количеством математических экспериментов нельзя доказать теорию, но достаточно одного физического эксперимента, чтобы ее опровергнуть».

Никакими общими соображениями нельзя привести к согласию расходящиеся точки зрения.

Парадокс заключается в том, что в принципе возможна ситуация, когда точки зрения расходятся до полной несовместимости, тогда и может оказаться, что только вместе они дают истинную картину знания.

Примером такого парадокса является создание квантовой механики в эпоху «бури и натиска», как ее называли участники дискуссии [4]. Дискуссия показала, что развязка кризиса не проходит до тех пор, пока лежащие в основе противоречия не достигают предельно возможной для них остроты.

В теории катастроф также возможны подобные ситуации, когда приходится вести научный поиск в условиях полной неопределенности, физический механизм которого может соединять несоединимое – картины сложного и малоизученного взаимодействия.

Ищущий экспериментатор – творческая душа, всегда понимает, что новым идеям гораздо труднее родиться, чем потом повзрослеть. История науки насчитывает слишком мало примеров, когда теоретическая мысль «смелыми набегами» добивалась скрупулезной законченности в пионерской работе [4].

При построении математического описания задачи методами современной теории катастроф возникает проблема *начальных условий*.

В прикладных задачах динамики корабля эта проблема имеет принципиальное значение, особенно в условиях неопределенности внешнего возмущения.

В такой ситуации гораздо проще организовать вычислительный процесс в рамках обратной задачи.

Действительно, на обратном конце задачи мы имеем более определенные условия потери устойчивости движения системы.

Адаптивный алгоритм, обеспечивающий решение этой задачи на основе метода функционала действия [10], позволяет осуществлять оценку потери устойчивости движения и строить соответствующие диаграммы оперативного контроля ситуации в динамической модели катастроф [13].

Проблема математического описания задачи в современной теории катастроф снижается за счет новых интерпретаций поведения динамических систем в рамках принципа конкуренции [9].

Ярким примером новых вычислительных технологий обработки информации является использование искусственных нейронных сетей (ИНС).

Нелинейное преобразование информации и массовый параллелизм позволили с помощью ИНС решать сложные задачи анализа и прогноза поведения динамических систем при различном уровне внешних возмущений, а реализации интегрированных ИНС и ансамблей ИНС можно рассматривать как «*Музыкальный аккорд*» при решении задач идентификации экстремальных ситуаций в бортовых ИС. Многим до сих пор кажется, что это «игра в математику».

Но эта игра уже дает реальные практические результаты при управлении посадкой летательных аппаратов корабельного базирования и в задачах мониторинга катастрофических явлений [2], [17].

6 Проблемы измерений и высокопроизводительных вычислений при физическом эксперименте

Проблемы и парадоксы современной теории катастроф могут возникать при интерпретации данных динамических измерений. Во многих случаях именно эти данные определяют функционирование сложных систем мониторинга катастрофических явлений. Сложность проблемы, неполнота и неопределенность исходной информации о поведении системы «внешняя среда – ДО» приводят к необходимости разработки вычислительной технологии, обеспечивающей обработку данных в режиме реального

времени с помощью высокопроизводительных вычислительных средств. Основная роль в этой технологии принадлежит данным динамических измерений, поступающим от датчиков бортовой измерительной системы [2], [8], [17]. В бортовых ИС реализуется принципиально новый тип измерительного процесса.

На каждом его этапе осуществляется выработка оптимальной стратегии измерений и интерпретация результатов на основе функциональной и метрологической обработки измерительной и априорной информации.

Этот подход особенно важен в задачах идентификации ситуации и оперативной оценки динамических характеристик исследуемого объекта [2], [8], [17].

Примером парадокса при обработке измерительной информации служит простая формула алгебры квадратных матриц [4], в которой не всегда действителен закон A•B=B•A (перестановка умножения):

$$A \bullet B \neq B \bullet A. \qquad (5)$$

Очевидно, что A и B не могут быть числами, а некоторыми символами.

Так, если рассматривать A и B как результат операции измерения, то указанная последовательность будет существенно зависеть от того, как эксперимент со своими погрешностями и техникой измерений реализуется в исследуемой физической системе. Но эти измеренные величины существуют до измерения.

И если при двух операциях A и B эксперимент по-разному вторгается в систему – совсем не безразличен порядок этих величин. Если результат зависит от порядка двух операций, возникает парадокс их одновременной проверки.

Неравенство (5) определяет закон соотношения неопределенностей и классической причинности: если однозначно доказано, что неопределенности неустранимы, то однозначного хода событий в глубинах материи действительно нет [4].

Многие коллизии при обработке экспериментального материала в рамках классической математики связаны с проблемой транзитивности в условиях неопределенности.

Эта проблема определяет свойство величин, состоящее в том, что если первая величина сравнима со второй, а вторая с третьей, то первая сравнима с третьей, т.е, если $a=b$ и $b=c$, то $a=c$.

Использование теории нечетких систем позволяет в значительной степени упростить интерпретацию экспериментальных данных и снизить эффект неопределенности, вызванный погрешностями измерений [17].

В отличие от бортовых ИС, стационарные системы, обеспечивающие Мониторинг чрезвычайных ситуаций, являются более громоздкими и требуют новых подходов к организации вычислительного процесса (рис. 4).



Рисунок 4 – Высокопроизводительные вычисления при реализации современной теории катастроф

Перспективные решения этой проблемы могут быть достигнуты на базе кластерных и суперкомпьютерных систем, а также грид-технологий [12] и сред «облачных» вычислений [6], [19], [20].

Последние конфигурации обеспечивают вычислительный процесс в рамках сервисной архитектуры. При этом «облачная» среда реализует сложное преобразование информации на уровне информационной, функциональной и аппаратной конфигурации [6], [19], [20].

Заключение

Настоящая статья – первый шаг физико-философского осмысления проблемы современной теории катастроф в задачах прикладных исследований.

На базе теоретических результатов, сформулированных с целью интеграции геометрической и аналитической компонент при интерпретации текущих ситуаций в сложных динамических средах, сформулирована динамическая модель катастроф, принципиально отличная от моделей катастроф, развитых в работах Р. Тома [22] и его последователей.

При изложении материала основное внимание обращается на формулировку основных принципов, методов и моделей, определяющих это новое научное знание. Акцент сделан на интерпретацию наиболее сложных физических явлений и задач в области динамики корабля – нелинейных нестационарных систем, описывающих поведение исследуемого объекта при взаимодействии с внешней средой. Именно в этих явлениях в наибольшей степени проявляются проблемы и парадоксы описания математических моделей и явления «скачка».

В заключение хотелось высказать пожелание, чтобы в процессе дискуссии по проблеме современной теории катастроф в различных научно-технических приложениях было достигнуто единомыслие по основным принципиальным вопросам ее развития.

В противном случае возникнет та же ситуация, что и в квантовой механике, когда для противоборствующих сторон достижение единомыслия было возможно только ценой «философской капитуляции», а философия – это последнее, что капитулирует в мыслящем человеке.

Ограниченная причинность образов и понятий, рожденных повседневным опытом человечества, не уменьшала могущества разума в познании глубин природы, а новое знание нельзя выражать на старом языке наших представлений.

Литература

1. Арнольд В.И. Теория катастроф / Арнольд В.И – М. : Наука, 1990.
2. Бортовые интеллектуальные системы. – Часть 1 : Авиационные системы ; Часть 2 : Корабельные системы. – М. : Радиотехника, 2006 ; Часть 3 : Системы корабельной посадки летательных аппаратов. – М. : Радиотехника, 2008.
3. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф : в 2-х кн. / Гилмор Р. – М. : Мир, 1984.
4. Данин Д. Нильс Бор / Данин Д. – М. : Молодая гвардия, 1978.
5. Клайн М. Математика. Утрата определенности / Клайн М. – М. : Мир, 1985.
6. Коваленко О.С. Обзор проблем и состояний облачных вычислений / О.С. Коваленко // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2011. – № 1 (3). – С. 48-57.
7. Лазарев В.Л. Эволюция систем контроля и управления с позиций информационно-энтропийной теории / В.Л. Лазарев // Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям : SCM'2005. – Т. 1. – Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – С. 33-41.
8. Нейрокомьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. – М. : Радиотехника, 2012.

9. Нечаев Ю.И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени / Ю.И. Нечаев // Труды 5-й всероссийской научно-технической конференции : «Нейроинформатика – 2003». – М. : МИФИ, 2003. – Часть 2 : Лекции по нейроинформатике. – С. 119-179.
10. Нечаев Ю.И. Высокопроизводительные вычисления на основе принципа конкуренции с использованием вероятностно-асимптотических методов структурирования данных / Ю.И. Нечаев, Дубовик С.А. // Морской вестник. – 2003. – № 2 (6). – С. 95-100.
11. Нечаев Ю.И. Нелинейная динамика и парадигмы вычислений при анализе экстремальных ситуаций // Материалы международной конференции «Леонард Эйлер и современная наука» / Ю.И. Нечаев. – Российская академия наук. Санкт-Петербург, 2007. – С. 385-390.
12. Нечаев Ю.И. Концепция и методологические основы создания интеллектуального базиса грид-систем / Нечаев Ю.И., Бухановский А.В., Васильев В.Н. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 54. – С. 13-28.
13. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Нечаев Ю.И. – Санкт-Петербург : Арт-Экспресс, 2011.
14. Пайтген Х.-О. Красота фракталов / Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. – М. : Мир, 1993.
15. Постон Т. Теория катастроф / Т. Постон, И. Стюарт. – М. : Мир.1980.
16. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М. : Прогресс – Традиция, 2000.
17. Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. – Санкт-Петербург : Арт- Экспресс, 2011.
18. Эйнштейн и современная физика : сборник. – М. : ГИТЛ, 1956.
19. Defining the Cloud Computing Framework // Cloud Computing Jornal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cloudcomputing,sys-con.com/node/811519
20. GTSI Cloud Computing Maturity Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http:// www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud-Computing.pdf
21. Nechaev Yu.I. Standardization of stability Problems and perspectives / Yu.I. Nechaev // Proc. of 6th international conference on stability of ships and ocean vehicles STAB-97. – Varna, Bulgaria. – 1997. – Vol. 2. – P. 39-45.
22. Thom R. Catastrophe theory: Its present state snd future perspectives / Thom R. // Dynamical systems. – Warwick. 1974. – Berlin – Heidelberg – New York Springer Verlag. Lecture Notes Math. V. – P. 366-372.
23. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing / L. Zadeh //Commutation on the ASM-1994. – 1994. – Vol. 37, № 3. – P. 77-84.

RESUME

Yu.I. Nechaev

Philosophical Aspects of Realization of Problems of the Modern Theory of Accidents in Integrated Dynamic Environment(Wednesday)

Consideration some philosophical aspects connected to scientific search by development of the modern catastrophe theory. The analogies are discussed at interpretation of processes in complex dynamic environments. The analysis is conducted on the basis of achievement in the field of intelligence technologies and high-performance means in frameworks paradigm of processing of the information in multiprocessor computing environment. Clause represents the reduced variant of research submitted by the author on the International Forum «World Forum-2013» in USA.

Статья поступила в редакцию 03.04.2013.